

Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el campo de Cartagena (*)

FRANCISCO JOSÉ ALCÓN PROVENCIO (**)

M^a DOLORES DE MIGUEL GÓMEZ (**)

M^a ÁNGELES FERNÁNDEZ-ZAMUDIO (***)

1. INTRODUCCIÓN

La Región de Murcia, enmarcada en la Cuenca del Segura, tiene una gran cultura del agua que ha ido desarrollando y tecnificando, hasta permitirle alcanzar en la actualidad un alto grado de madurez en su uso. Según las estadísticas oficiales de esta comunidad autónoma (CARM, 2003), de las 162.644 hectáreas ocupadas por cultivos de regadío, distribuidas en cultivos leñosos (61 por ciento) y herbáceos (39 por ciento), solamente el 31,7 por ciento de estas tierras tenían dotación para el riego, y se han destinado al cultivo de frutas y hortalizas que aportan el 75,7 por ciento a la Producción Final Agraria, generando más de un millón de empleos en cada campaña.

El riego localizado, en su modalidad de goteo, es el más reciente de los métodos de riego y fue desarrollado en los años sesenta e implantado a partir de los setenta. Respecto al riego tradicional, tiene como ventajas la reducción de forma considerable de la evaporación de agua del suelo y las pérdidas por percolación y, como consecuencia, el incremento de la eficiencia de aplicación de agua. Así mismo, si se automatiza reduce el uso de mano de obra, permite el aporte de

(*) *El presente trabajo forma parte de las investigaciones realizadas dentro del Proyecto I+D+I de referencia AGL 2002-04251-C03-01, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y los Fondos FEDER. También queremos agradecer las recomendaciones de los revisores anónimos y a todos los miembros de la CR del Campo de Cartagena por su colaboración en la toma de datos.*

(**) *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena.*

(***) *Departamento de Economía y Sociología Agrarias. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).*

- Estudios Agrosociales y Pesqueros, n.º 210, 2006 (pp. 227-245).

aguas más salinas que en un sistema de riego convencional, también permite la fertirrigación, y disminuye riesgos fitosanitarios y la proliferación de malas hierbas (Keller, 1990, Pizarro, 1996).

En España, un 27 por ciento de las tierras de regadío poseen tecnología de riego localizado, siendo la Región de Murcia la de mayor porcentaje de su superficie con riego por goteo (64 por ciento) seguida de Andalucía (49 por ciento) y Canarias (48 por ciento) (MAPA, 2004). La Ley de Aguas de 2 de agosto de 1985 estableció que todas las aguas son públicas y que deben ser gestionadas por comunidades de regantes (CC.RR.), con la aprobación de los organismos de cuenca. La CR del Campo de Cartagena, una de las más grandes y tecnificadas de Europa, comprende en su perímetro regable 37.433 hectáreas divididas en tres zonas (Oriental, Occidental y Cota 120), de éstas, 22.685 hectáreas se encuentran cultivadas según orden de importancia por hortalizas (51 por ciento), cítricos (35 por ciento) y frutales (8 por ciento), estando un 11 por ciento de estos cultivos bajo invernaderos. Esta CR posee modernos sistemas de gestión del agua a la demanda, en función de las disponibilidades del agricultor, y cuenta con un 92 por ciento de sus tierras con riego localizado.

Las necesidades de los cultivos de la CR son superiores a la dotación asignada por su principal fuente de suministro (1) (3.205 m³/ha), teniendo en cuenta que el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura establece unas necesidades de 5.000 m³/ha para hortícolas y 8.300 m³/ha para leñosos. Sin embargo, desde 1980 solamente en 2 años se ha llegado a trasvasar esta cantidad de agua por hectárea. A esta escasez se le suma el incremento de la población y la falta de lluvia de los últimos años, lo que ha generado una alta competencia por el recurso agua, para su uso urbano, industrial y agrícola.

En este contexto, el presente artículo tiene por objetivo describir el proceso de difusión de tecnología ahorradora de agua (riego por goteo) seguido por la CR del Campo de Cartagena. Para ello se propone una modelización matemática, con el fin de analizar las características del proceso, sus factores determinantes, la situación tecnológica actual y su posible evolución. Para estudiar la evolución y la dinámica que ha seguido esta tecnología, se aplican modelos de difusión y se determinan los que mejor se ajustan al proceso.

El trabajo se ha estructurado en una primera parte en la que se describe la base teórica de los modelos y se revisan algunas de las apor-

(1) Esta comunidad se abastece principalmente de agua en la Cuenca del Tajo a través del Acueducto Tajo-Segura.

taciones que sobre la difusión de las innovaciones tecnológicas se han realizado hasta la actualidad, y especialmente las referentes a agricultura. La segunda parte, la configura la metodología del estudio empírico de la CR del Campo de Cartagena, basado en 360 encuestas realizadas a los agricultores de esta zona regable. Finalmente se exponen los resultados y su discusión.

2. MODELOS DE DIFUSIÓN EN AGRICULTURA

Difusión es un proceso en el cual una innovación es comunicada a través de ciertos canales y en el tiempo entre los miembros de un sistema social (Rogers, 1962), siendo un tipo especial de comunicación en el que los mensajes versan sobre nuevas ideas. El estudio de la propagación de la adquisición y uso de una nueva tecnología es conocido como el estudio de la difusión tecnológica (Karshenas y Stoneman, 1995) o proceso por el cual las innovaciones, ya sean nuevos productos, nuevos procesos o nuevos métodos de gestión, se propagan dentro y a través de un sistema productivo, por lo que el efecto del cambio tecnológico sobre el estado de este sistema depende, finalmente, del grado en el cual son difundidas las innovaciones, siendo la difusión de la tecnología el principal contribuyente al crecimiento económico (Stoneman, 1986).

Por otro lado, la adopción es un proceso dinámico, ya que existe un periodo de tiempo entre que el agricultor conoce la tecnología hasta que la adopta. Por ello, la difusión puede ser interpretada como la adopción agregada, estando ligada la primera al espacio y al tiempo y la segunda al comportamiento adoptante de un individuo (Gómez, 1986; Sunding y Zilberman, 2001).

Una de las controversias existentes sobre la adopción/difusión y su análisis, es que no existe un marco de trabajo económico definido. En la literatura aparecen básicamente dos tipos de trabajos referentes a la adopción de innovaciones tecnológicas: los que tratan de explicar a nivel individual por qué unos agricultores adoptan y otros no, identificando los factores que los llevan a esta adopción y utilizando generalmente modelos de elección discreta (Lichtenberg, 1989; Caswell y Zilberman, 1985; Caswell y Zilberman, 1986; Jeremy, 2003) y los que tratan de describir el proceso de difusión de una determinada tecnología en un tiempo y su posible evolución (Griliches, 1957; Gómez, 1988; Knudson, 1991; Muñoz y Juárez, 2004; Carmona *et al.*, 2005). El tipo que aquí se analiza, pertenece a estos últimos.

Con el propósito de describir los sucesivos incrementos del número de adoptantes y predecir el desarrollo continuado del proceso de

difusión ya en marcha, se utilizan los modelos de difusión (Mahajan *et al.*, 1990), basados en funciones matemáticas, que permitan conocer analíticamente la penetración de la tecnología en el mercado potencial a lo largo del tiempo (b), el origen (N_0) y el grado de saturación o nivel máximo de adopción (M) (Van den Bulte, 2000). Finalmente, será posible obtener una descripción del sendero, predecir la tasa de crecimiento y del nivel de saturación en una proyección futura y realizar un control del proceso, ya que es posible influir sobre su trayectoria.

De las tres formas de analizar la difusión temporal: la Inter-Empresas, que corresponde a la evolución de la adopción en sentido agregado o número de empresas que van adoptando; la Intra-Empresa, que contempla los incrementos de adopción que se van produciendo dentro de la misma empresa y la Global, que sería la difusión Inter-Empresas cuando se considera la intensidad de adopción (Thirtle y Ruttan, 1987; Mansfield, 1961), elegimos para este trabajo la primera y la tercera forma de analizar la difusión.

Los modelos agregados de difusión clásicos (Bass, 1969; Mansfield, 1961; Fourt y Woodlock, 1960), enfocados en el ciclo de vida del producto, basados en la modelización de la primera compra en un horizonte fijado, describen la penetración y el nivel de saturación con diversas formas funcionales. Estos autores asumen que los potenciales adoptantes de la tecnología se encuentran influenciados por el tipo de comunicación por el cual perciben la innovación, tales como medios de comunicación masivos y el boca a boca, que también incluye las percepciones visuales.

Como base conceptual de todos los modelos de difusión es posible plantear su ecuación matemática genérica en términos absolutos (2):

$$\frac{dN(t)}{dt} = g(t)[M - N(t)] \quad [1]$$

Con $N(t=t_0)=N_0$

Donde:

$$N(t) = \int_{t_0}^t n(t)dt \quad [2]$$

(2) Algunos autores utilizan la forma relativa, escribiendo la ecuación [1] como $dF(t)/dt = g(t)[M - F(t)]$, siendo $F(t) = N(t)/M$ la proporción acumulada de los individuos que han ido adoptando tecnología hasta el momento t y $f(t) = n(t)/M$ la función de densidad del tiempo de adopción.

$\frac{dN(t)}{dt}$ = tasa de difusión en el tiempo t.

$n(t)$ = número no acumulativo de adoptantes en el tiempo t.

$N(t)$ = adopción acumulada en el tiempo t.

M = número total de potenciales adoptantes en el tiempo.

$g(t)$ = coeficiente de difusión que determinará el tipo de curva de difusión.

N_0 = número acumulado de adoptantes en el tiempo t_0 .

2.1. Modelos de influencia interna

En ellos la transmisión de la información se produce por interacciones entre los miembros del sistema social, basándose la innovación en un proceso de imitación en el cual se modeliza la difusión de la información. La hipótesis subyacente del impulsor de este modelo, Mansfield (1961), es que la difusión se produce por acumulación de información y experiencia, que irán reduciendo la incertidumbre inicial y produciendo un arrastre de los adoptantes respecto de los potenciales adoptantes, de forma similar a la propagación de una epidemia por contagio (Baptista, 1999). La expresión funcional del proceso es una curva sigmoidea en forma de S, que puede seguir una distribución Logística, Normal o Gómpertz.

En modelo logístico está definido por la siguiente ecuación diferencial (3):

$$\frac{dN(t)}{dt} = bN(t)[M - N(t)] \quad [3]$$

Donde, además b = tasa de difusión.

Para que sea aplicable el modelo debe de existir un adoptante inicial. Relativizando respecto a M e integrando la ecuación [3] en t , se obtiene la curva de difusión logística [4], donde (a) es la constante de integración.

$$N(t) = \frac{M}{1 + e^{-(a+bt)}} \quad [4]$$

En esta ecuación sigmoidal simétrica, la máxima tasa de adopción ocurre en el punto de inflexión de la curva $dN/dt=0$, justo cuando

$$(3) \text{ Forma relativa } \frac{dF(t)}{dt} = bF(t)[M - F(t)]$$

la innovación ha alcanzado el 50 por ciento, que según Banks (1994) será $t^*=a/b$ y $N(t^*)=M/2$. A mayor valor del parámetro (b) indica mayor velocidad de difusión, y a mayor valor de la constante de integración (a) implica menor nivel inicial del proceso.

Otro modelo de influencia interna utilizado en la agricultura ha sido el aportado por Dixon, (1980), en el cual utilizó la función Gompertz, definida por la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dN(t)}{dt} = bN(t) \left[\ln M - \ln N(t) \right] \quad [5]$$

Suponiendo que $N(t=t_0)=N_0$ e integrando, se obtiene la función acumulativa de adoptantes:

$$N(t) = ME^{\left[- \left(\ln \frac{M}{N_0} \right) e^{[-b(t-t_0)]} \right]} \quad [6]$$

Esta expresión matemática presenta una forma asimétrica en la que el punto de inflexión ocurre antes que en la curva logística, justo cuando se alcanza aproximadamente el 36,8 por ciento del nivel del techo (M), siendo $N(t^*)=M/e$.

Estas aproximaciones se adaptan bien para el análisis de innovaciones socialmente visibles, de modo que se requiere un sistema social homogéneo donde el efecto imitativo juega un papel fundamental y el hecho de no adoptar supone una desventaja respecto a los adoptantes.

2.2. Modelos de influencia externa

Se trata de modelos deterministas de forma exponencial y fueron formulados por Fourt y Woodlock (1960). En ellos, se asume que la información que le llega a los potenciales adoptantes proviene de fuentes externas y ajenas al sistema, como los medios de comunicación o los agentes de cambio. El número de adoptantes en cada período viene definido por la siguiente ecuación diferencial (4):

$$\frac{dN(t)}{dt} = b \left[M - N(t) \right] \quad [7]$$

(4) Forma relativa $\frac{dF(t)}{dt} = b \left[M - F(t) \right]$

Donde (b') representa al coeficiente de difusión que proviene desde fuera del sistema social, cuya magnitud dependerá de la velocidad con la que los potenciales adoptantes aprenden las características de la tecnología. Integrando la ecuación [7] se obtiene la curva de difusión:

$$N(t) = M \left[1 - e^{-(a-bt)} \right] \quad [8]$$

Siendo (a) la constante de integración.

Este modelo asume que la tasa de difusión (b) solamente depende del número de adoptantes potenciales presentes en el tiempo t, no atribuyendo relación alguna entre adoptantes previos y potenciales. Es una función exponencial negativa y creciente, con asíntota superior y sin punto de inflexión, donde mayores valores de (b) implican mayor tasa de difusión, y mayor valor de (a) implica menor nivel de adopción inicial. Es aplicable a situaciones donde la adopción previa no tiene importancia, bien porque el sistema social se encuentre aislado, o bien porque no interactúe, también cuando la innovación sea sencilla y no requiera un aprendizaje previo o cuando la información relativa a la tecnología solamente sea accesible a través de fuentes ajenas al sistema.

2.3. Modelo de influencia mixta

También llamado modelo generalizado estático o «modelo Bass», abarca los dos modelos descritos anteriormente. Se basa en el efecto de las relaciones personales y de los medios de comunicación masiva, dividiendo los potenciales adoptantes según definió Bass (1969) en imitadores (influencia interna) e innovadores (influencia externa), e integra en un solo modelo las consideraciones de Mansfield (1961) y de Fourt y Woodlock (1960).

La tasa de adopción de una innovación dependerá de la interacción entre adoptantes y potenciales adoptantes, derivándose el modelo de una función de azar que define la probabilidad de que un individuo adopte por primera vez una tecnología en el tiempo t, obteniéndose la formulación relativa básica:

$$f(t) / (1 - F(t)) = p + qF(t) \quad [9]$$

Siendo (p) el coeficiente de innovación y (q) el coeficiente de imitación.

Como M es el total de potenciales adoptantes, el número de los que van a adoptar en el momento t será $Mf(t)=n(t)$ y el número acumu-

lado de los que han adoptado en el tiempo t será $MF(t)=N(t)$, operando se llega a la forma absoluta:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p(M - N(t)) + q \frac{N(t)}{M} (M - N(t)) \quad [10]$$

El término $p(M - N(t))$, representa a los adoptadores que no han sido persuadidos por los compradores precedentes y estarán afectados por el coeficiente de influencia externa (p), mientras que:

$q \frac{N(t)}{M} (M - N(t))$ representa a los individuos influidos por los agricultores que han adoptado con anterioridad, dependiendo del coeficiente de influencia interna (q).

Integrando y transformando se obtiene su curva de difusión [11], ecuación diferencial de primer orden similar al modelo de difusión de epidemias, concretamente al modelo de infección continua, en el cual un potencial adoptante se encuentra en contacto con otros individuos que ya han adoptado y con los agentes externos causantes de la infección.

$$N(t) = \frac{M(1 - e^{-(p+q)t})}{\left[(q/p)e^{-(p+q)t} + 1 \right]} \quad [11]$$

Es una función sigmoidea positivamente asimétrica en función de la magnitud relativa de (p) sobre (q) no alcanzándose nunca el máximo de $N(t)$ después de que la innovación haya alcanzado el 50 por ciento del total de adoptantes potenciales. A mayores valores de (p) y (q) mayores velocidades de difusión, y el punto de inflexión coincidente con el máximo nivel de adopción ocurrirá siguiendo a Mahajan *et al.* (1990) en el tiempo t^* y con la cantidad $N(t^*)$ definido por:

$$t^* = \frac{\ln(q/p)}{p+q} \text{ y } N(t^*) = M \left(\frac{1}{2} - \frac{p}{2q} \right)$$

Si el valor de (p) es muy superior al de (q), el modelo estaría influenciado básicamente por agentes externos al sistema, mientras que si (q) domina sobre (p) el modelo se asemejaría a una curva logística. Los modelos aquí analizados son estáticos, pero Mahajan *et al.* (1995) han recopilado sus posibles dinimizaciones. Hay autores que han considerado uno o más parámetros variantes en el tiempo y dependientes de factores exógenos influyentes según formas funcionales concretas, con el objetivo de imprimirle un carácter más realista a las

estimaciones (Mahajan y Peterson, 1978; Mahajan *et al.*, 1979). Los trabajos del tipo de Sharif y Ramanathan (1981, 1982) con un nivel de adopción máximo variable en t son los más empleados.

3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO EMPÍRICO

Se ha analizado a través de curvas de difusión el comportamiento de los agricultores de una de las CR más importante y tecnificada de Europa, frente a la adopción de tecnología de riego localizado. Para ello, se han recopilado datos de campo de 360 agricultores mediante encuesta personal realizada según un muestreo aleatorio estratificado con afijación proporcional a los sectores de riego y grupos de cultivo. Del total de regantes, se han eliminado aquellos que cultivan almendro, que tradicionalmente ha sido un cultivo de secano. Considerando como población a los 3.237 regantes activos de la CR y con un nivel de confianza del 95 por ciento, la muestra nos proporciona un error inferior al 5 por ciento.

Se analiza la difusión Inter-Empresa, modelada con el porcentaje de agricultores que van adoptando por primera vez, y también la adopción Global de la tecnología representada por los diferentes incrementos tecnológicos que manifestaron haber realizado los regantes. Además se analiza la difusión de la información en cuanto al conocimiento de la tecnología.

Las observaciones de los datos de campo indican que el 8 por ciento de la superficie que permanece con riego tradicional corresponde a parcelas de tamaño tan reducido que no permite la instalación de esta tecnología, dedicándose fundamentalmente a usos recreativos, por ello la difusión ha llegado a su techo en esta CR. Se han calculado los modelos permitiendo que los coeficientes y el techo de adopción sean variables y se ajusten por sí mismos a la realidad, pero como los techos de la función Gompertz y Exponencial daban estimaciones irreales, se han tenido que limitar a un máximo ($M < 100$).

Los cálculos de ajuste de las ecuaciones de los modelos descritos se han realizado a través de regresiones no lineales estimadas por el método Levenberg-Marquardt (5), con una función de pérdida que minimiza la suma de los residuos al cuadrado y una convergencia de la suma de los cuadrados en los parámetros de 10^{-8} , utilizando los programas SPSS 11.0 y STATGRAPHICS Plus 5.1.

(5) Para estimar los parámetros de la ecuación Gompertz se utilizó el método de Programación cuadrática secuencial y se impuso la restricción $M \leq 100$ para que ésta oscilara entre valores que tuvieran reflejo en la realidad. Esta restricción también se aplicó al modelo exponencial.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los modelos expuestos en el cuadro 1 reflejan las ecuaciones calculadas para los diferentes modelos, el tiempo que tarda la innovación en alcanzar el máximo nivel de adopción y la cantidad adoptada en ese tiempo. En el cuadro 2 aparecen los coeficientes estimados para los parámetros de los 4 modelos, sus tasas de difusión máximas (b), el techo que alcanzaría la innovación, el error estándar de los coeficientes, el error estándar de la estimación (EEE) y el porcentaje de explicación de la variabilidad de la variable dependiente así analizada (R^2).

Los modelos que explican el proceso a través de las interacciones entre agricultores presentan mejores ajustes que el modelo exponencial (influencia externa) siendo el logístico (influencia interna) y el de Bass (influencia mixta con un elevado coeficiente de influencia interna respecto a la externa) los dos modelos que mejor se adaptan al sendero de difusión trazado por la tecnología de riego, tanto a nivel de agricultores como de superficie e información. Estos modelos presentan valores del error estándar de los coeficientes y de la desviación normal de los residuos muy reducidos. De ahí se desprende que el boca a boca y las percepciones visuales de los agricultores han sido el motor de crecimiento de este proceso, de hecho, el 68,3 por ciento de los agricultores de la muestra manifestaron haber conocido la existencia de esta tecnología por otros agricultores y el 23,6 por ciento por suministradores de materiales de riego que fueron a ofrecérselo a su explotación, quedando estos valores perfectamente concatenados con los valores que reflejan los parámetros del modelo Bass que corresponden con los coeficientes q y p .

Infiriendo, la difusión Inter-Empresas consigue su máximo ratio de crecimiento en torno a los años 1986 y 1987 abarcando entre 1.450 y 1.560 agricultores según el modelo Bass y Logístico respectivamente. En cuanto a la superficie cultivada bajo esta tecnología, el máximo se alcanza en torno al año 1991 con una superficie entre 15.245 y 16.039 hectáreas según los respectivos modelos. El proceso de conocimiento fue más rápido que el de la tecnología, ya que en el año 1981 casi la mitad de los agricultores conocían su existencia y en 1985 se extendía este conocimiento a más del 90 por ciento de los regantes, alcanzándose este porcentaje de adopción superficial en el año 2000.

Observando los datos manifestados por los agricultores, se puede ver que el proceso de decisión de compra o periodo de adopción dura por término medio entre 6 y 7 años, siendo éste coincidente con el

Cuadro 1
DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL RIEGO LOCALIZADO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CAMPO DE CARTAGENA

Modelo	Difusión	Inter-Empresa (% agricultores)	Global (% superficie)	Conocimiento (% agricultores)
Logístico		$N(t) = \frac{96,45}{1 + e^{-(-3,02+0,24t)}}$ $t^* = 12,44$ $N(t^*) = 48,23$	$N(t) = \frac{97,80}{1 + e^{-(-4,42+0,27t)}}$ $t^* = 16,05$ $N(t^*) = 48,90$	$N(t) = \frac{99,25}{1 + e^{-(-3,09+0,50t)}}$ $t^* = 6,21$ $N(t^*) = 49,63$
Gompertz		$N(t) = 100 e^{\left[-\left(\frac{100}{1,39} \right) e^{\left[-0,15(-t-0) \right]} \right]}$ $t^* = 9,75$ $N(t^*) = 36,78$	$N(t) = 100 e^{\left[-\left(\frac{100}{0,11} \right) e^{\left[-0,12(-t-0) \right]} \right]}$ $t^* = 16,03$ $N(t^*) = 36,78$	$N(t) = 100 e^{\left[-\left(\frac{100}{5} \right) e^{\left[-0,26(-t-0) \right]} \right]}$ $t^* = 4,24$ $N(t^*) = 36,78$
Exponencial		$N(t) = 100[1 - e^{(0,16-0,8t)}]$	$N(t) = 100[1 - e^{(0,22-0,6t)}]$	$N(t) = 100[1 - e^{(0,15-0,16t)}]$
Bass		$N(t) = \frac{99,74(1 - e^{-(0,02+0,18)t})}{\left[(0,02 / 0,18) e^{-(0,02+0,18)t} + 1 \right]}$ $t^* = 11,64$ $N(t^*) = 44,75$	$N(t) = \frac{98,79(1 - e^{-(0,004+0,26)t})}{\left[(0,004 / 0,26) e^{-(0,004+0,26)t} + 1 \right]}$ $t^* = 16,05$ $N(t^*) = 48,64$	$N(t) = \frac{99,56(1 - e^{-(0,03+0,42)t})}{\left[(0,03) e^{-(0,03+0,42)t} + 1 \right]}$ $t^* = 5,83$ $N(t^*) = 46,13$

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2

PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍA DE RIEGO LOCALIZADO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CAMPO DE CARTAGENA

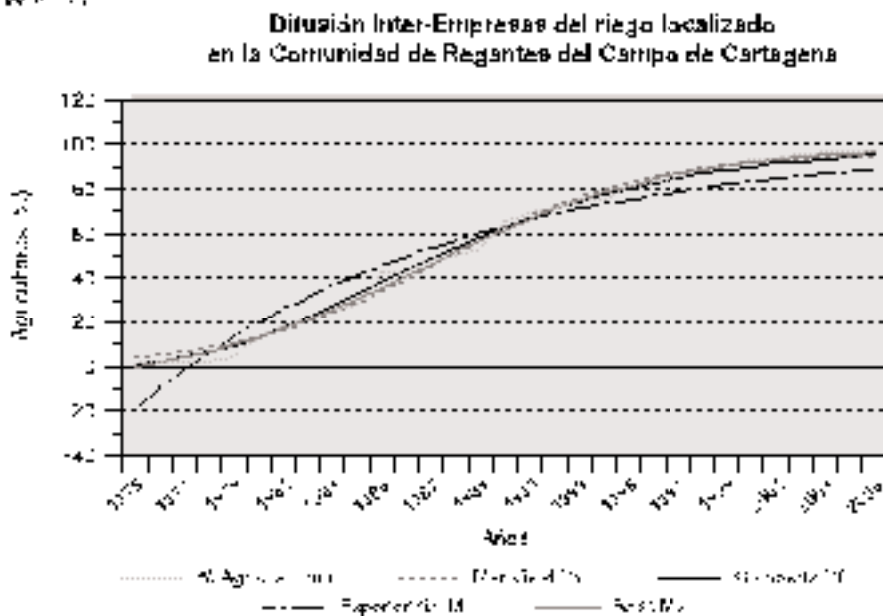
Modelo	Difusión	M	a	b	EEE	R ²
Logístico	Agricultores	96,4543 (1,5949)*	-3,0221 (0,1359)	0,2428 (0,0126)	3,34	99,13
	Superficie	97,8041 (1,2978)	-4,4205 (0,1414)	0,2753 (0,0101)	2,23	99,66
	Conocimiento	99,2593 (0,8521)	-3,0950 (0,1847)	0,4978 (0,0291)	3,50	98,99
Gompertz	Agricultores	100 (1,4189)	1,39	0,1490 (0,0029)	2,66	99,44
	Superficie	100 (6,9366)	0,11	0,1194 (0,0090)	8,41	95,18
	Conocimiento	100	5	0,2587 (0,0088)	5,34	97,49
Exponencial	Agricultores	100	N ₀	b	EEE	R ²
	Superficie	100	0,1689 (0,0391)	0,0787 (0,0049)	8,63	93,98
	Conocimiento	100	0,2201 (0,0564)	0,0633 (0,0060)	13,98	86,21
Bass	Agricultores	99,7449 (1,7075)	0,1498 (0,0512)	0,1647 (0,0130)	8,56	93,81
	Superficie	98,7951 (1,3318)	p	q	EEE	R ²
	Conocimiento	99,5642 (0,8567)	0,0182 (0,0015)	0,1774 (0,0135)	2,49	99,51
	Agricultores	100	0,0039 (0,0004)	0,2570 (0,0107)	2,06	99,71
	Superficie	100	0,0306 (0,0048)	0,4168 (0,0376)	3,38	99,06
	Conocimiento	100				

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar.

punto de máxima difusión, esto es, cuando más del 90 por ciento los agricultores perciben un conocimiento homogéneo sobre la tecnología, ésta se encuentra en el momento de máxima penetración.

En el gráfico 1 se puede apreciar el buen ajuste del Modelo Bass al sendero de difusión Inter-Empresa. El 10 por ciento de $N(t)$ se sobrepasa a principios de los ochenta, alcanza su máxima tasa de crecimiento en el año 1982 y llega a un techo de 1.448 agricultores en el año 1986.

Gráfico 1



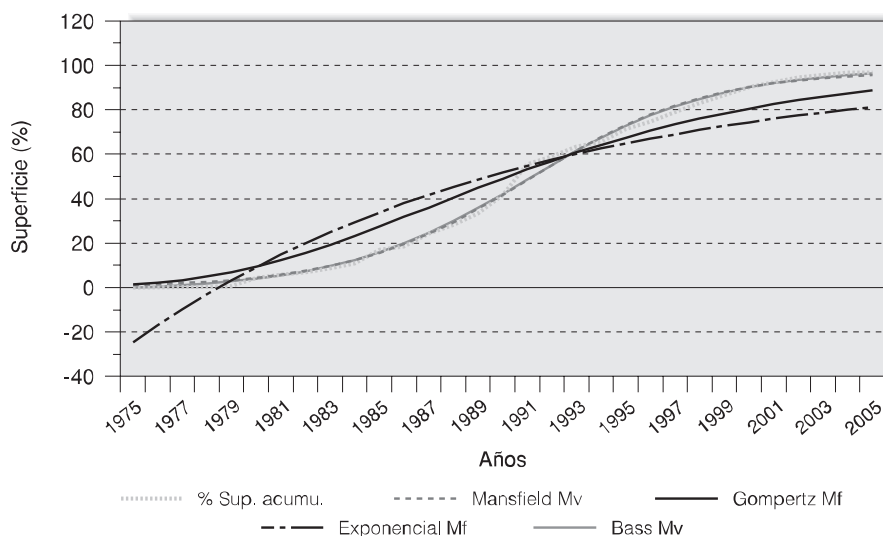
Fuente: datos de campo.

El gráfico 2 muestra la difusión de la superficie que posee riego localizado en los últimos 30 años. Se observa que ha tenido un pequeño retraso respecto a la difusión Inter-Empresa (4 años), debido a que los agricultores no han instalado la tecnología de una vez, sino que su implantación ha sido progresiva conforme han ido conociendo su manejo y desarrollando sus habilidades, tal y como se desprende de la teoría de los modelos que mejor la explican (Logístico y Bass).

El despegue del conocimiento se produce en torno al año 1977, se alcanza el máximo coeficiente de difusión en 1981, y en los años noventa todos los agricultores han hablado con otros sobre el riego localizado o lo han visto en otras explotaciones. En cuanto a su difu-

Gráfico 2

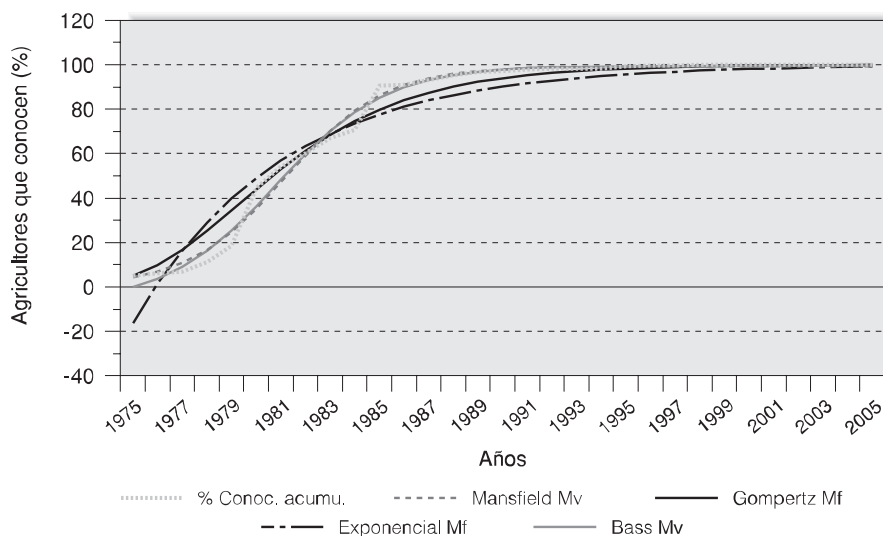
Difusión Global del riego localizado en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3

Difusión del Conocimiento del riego localizado en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena



Fuente: Elaboración propia.

sión (gráfico 3) se observa que una vez más el Modelo Bass presenta mejores ajustes, siendo el coeficiente de influencia interna el más elevado de todas las estimaciones.

5. CONCLUSIONES

Se ha estudiado el sendero de difusión de la tecnología de riego por goteo en la CR del Campo de Cartagena utilizando las principales metodologías recogidas en la literatura científica. Tras el análisis, se puede apreciar que dicho proceso está influenciado por interacciones entre sus miembros y por el aprendizaje que éstos van adquiriendo de la tecnología con la experiencia de su uso, reduciendo la incertidumbre en torno a ella y motivando a otros agricultores que todavía no la han adoptado, siendo los modelos Logístico y Bass los que soportan esta hipótesis y los que mejor describen el proceso.

La tecnología en sí, ya ha llegado a su techo en esta CR como reflejan los modelos y la realidad, y el mayor coeficiente de difusión Inter-Empresa, Global y de Conocimiento es de 0,24, 0,27 y 0,50 respectivamente para el modelo Logístico, mientras que el modelo Bass presenta un coeficiente de imitación de 0,18 para los agricultores, de 0,25 para la superficie y de 0,41 para la información.

La tasa de crecimiento del conocimiento duplica a la tasa de adopción Inter-Empresa en el periodo analizado y esta última alcanza su valor máximo cuando el conocimiento de la existencia de la tecnología llega a la mayoría de regantes.

Desde que la tecnología sale al mercado a principios de los años setenta, hasta que comienza a propagarse su conocimiento, se produce un retraso de unos 3 años según los modelos analizados. Este retraso se incrementa en unos 5 años hasta que se extiende la adopción entre agricultores, y para el establecimiento de un 10 por ciento de la superficie con riego localizado hubo que esperar entre 8 y 9 años.

Una justificación que cabría realizar al retraso de la implantación de esta tecnología en la CR del Campo de Cartagena, se deba a las fuertes inversiones que han de realizar los agricultores. Aunque la CR afronte las grandes obras de la infraestructura y se las acerquen hasta pie de finca, es el propio agricultor el que ha de tomar la decisión de completar la instalación, y en este caso concreto, para que las fuertes inversiones generadas tengan la eficacia deseada, se ha de completar el sistema con la construcción de una balsa de almacenamiento del agua de riego y la instalación de la propia tecnología, con la finalidad de paliar la inseguridad en el abastecimiento del agua y adquirir las ventajas tecnológicas.

De la contrastación de los distintos modelos, se deduce cuál ha sido la hipótesis que ha impulsado este proceso de adopción de cara al establecimiento de políticas de implantación tecnológica en otras zonas agrarias o con otras tecnologías, ya que si se aplica allí donde el uso de una tecnología se encuentra en un estado emergente, se podría no solamente describir el proceso, sino también predecir y controlar sus parámetros, y con ello contribuir al crecimiento económico y de bienestar de los agricultores allí ubicados.

Habría que considerar en este proceso de difusión que la CR ha contribuido a la expansión de la tecnología de riego por goteo usada por los agricultores adoptando, de forma escalonada y en varias fases, tecnología de distribución y control que facilita el acceso al agua por parte del agricultor. Esta adopción colectiva de la comunidad mejora la eficiencia de las infraestructuras hidráulicas de la zona y facilita la captación de agua al agricultor.

BIBLIOGRAFÍA

- BANKS, R. (1994): *Growth and diffusion phenomena: Mathematical frameworks and applications*. Springer-Verlag. New York.
- BAPTISTA, R. (1999): «The diffusion of process innovations: a selective review». *International Journal of the Economics of Business*, 6: pp. 107-129.
- Bass, F. (1969): «A new product growth model for consumer durables». *Management Science*, 15: pp. 215-227.
- CARM (2003): *Anuario Estadístico de la Región de Murcia*. Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Murcia.
- CARMONA, M. M.; GÓMEZ, J. y FAURA, U. (2005): «La difusión de la agricultura ecológica en España: una propuesta de modelización matemática». *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 205: pp. 39-63.
- CASWELL, M. y ZILBERMAN, D. (1985): «The choices of irrigation technologies in California». *American Journal of Agricultural Economics*, 67: pp. 224-234.
- CASWELL, M. y ZILBERMAN, D. (1986): «The Effects of Well Depth and Land Quality on the Choice of Irrigation Technology». *American Journal of Agricultural Economics*, 68: pp. 798-811.
- DIXON, R. (1980): «Hybrid corn revisited». *Econometrica*, 48: pp. 1.451-1.461.
- FOURT, L. A. y WOODLOCK, J. W. (1960): «Early Prediction of Market Success for New Grocery Products». *Journal of Marketing*, 25: pp. 31-38.
- GÓMEZ, A. C. (1986): *Difusión-Adopción de Innovaciones en Agricultura: un estudio sobre la campaña de Córdoba*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba.
- GÓMEZ, A. C. (1988): «Análisis del comportamiento innovador de los agricultores a través de curvas de difusión». *Revista de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 145: pp. 85-106.

- GRILICHES, Z. (1957): «Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change». *Econometrica*, 25: pp. 501-522.
- JEREMY, D. F. (2003): «The economics of water-conserving technology adoption in Tunisia: An empirical estimation of farmer technology choice». *Economic Development and Cultural Change*, 51: pp. 359-373.
- KARSHENAS, M. y STONEMAN, P. (1995): «Technological Diffusion». En P. Stoneman (ed.): *Handbook of the economics of innovation and technological change*: pp. 265-296. Blackwell Handbook in Economics. Oxford.
- KELLER, J. y BLIESNER, R. D. (1990): *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Chapman y Hall. Nueva York.
- KNUDSON, M. K. (1991): «Incorporating technological change in diffusion models». *American Journal of Agricultural Economics*, 73: pp. 722-733.
- LICHTENBERG, E. (1989): «Land Quality, Irrigation Development, and Cropping Patterns in the Northern High Plains». *American Journal of Agricultural Economics*, 71 (1): pp. 187-195.
- MAHAJAN, V.; MULLER, E. y BASS, F. (1995): «Diffusión de new products: empirical generalizations and managerial uses». *Marketing Science*, 14: pp. 79-88.
- MAHAJAN, V.; MULLER, E. y BASS, F. N. (1990): «New products diffusion model in marketing: a review and directions for research». *Journal of Marketing*, 54: pp. 1-26.
- MAHAJAN, V. y PETERSON, R. A. (1978): «Innovation Diffusion in a Dynamic Potential Adopter Population». *Management Science*, 24: pp. 1.589-1.597.
- MAHAJAN, V.; PETERSON, R. A.; JAIN, A. K. y MALHOTRA, N. (1979): «A New Product Growth Model with a Dynamic Market Potential». *Long Range Planning*, 12: pp. 51-58.
- MANSFIELD, E. (1961): «Technical change and the rate of imitation». *Econometrica*, 29: pp. 741-766.
- MAPA (2004): *Hechos y cifras de la agricultura, la pesca y la alimentación en España*. <http://www.mapa.es/es/ministerio/pags/hechosy cifras/introhechos.htm>
- MUÑOZ, R. y JUÁREZ, F. (2004): «La adopción del tractor en Cataluña como marcador temporal del cambio en la agricultura». *V Congreso de Economía Agraria, Asociación Española de Economía Agraria*. Santiago de Compostela.
- Pizarro, F. (1996): *Riegos localizados de alta frecuencia*. Mundi Prensa. Madrid.
- ROGERS, E. M. (1962): *Diffusion of Innovations*. Free Press. New York.
- SHARIF, M. N. y RAMANATHAN, K. (1981): «Binomial innovation diffusion models with dynamic potential adopter population». *Technological Forecasting and Social Change*, 20: pp. 63-87.
- SHARIF, M. N. y RAMANATHAN, K. (1982): «Polynomial innovation diffusion models». *Technological Forecasting and Social Change*, 21: pp. 301-323.
- STONEMAN, P. (1986): «Technological diffusion: the viewpoint of Economic Theory». *Recherche Economique*, 40: pp. 585-606.
- SUNDING, D. y ZILBERMAN, D. (2001): «The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector». En

- B. L. Gardner y G. C. Rausser (ed.): *Handbook of agricultural economics*: pp. 207-261. Elsevier. Amsterdam.
- THIRTLE, C. G. y RUTTAN, V. W. (1987): *The role of demand and supply in the generation and diffusion of technical change* Harwood Academic Publishers.
- VAN DEN BULTE, C. (2000): «New product diffusion acceleration: measurement and analysis». *Marketing Science*, 19: pp. 366-380.

RESUMEN

Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el campo de Cartagena

Se describe la estructura analítica de los modelos de adopción de innovaciones tecnológicas más utilizados en la literatura, haciendo hincapié en las aplicaciones agrícolas desde el punto de vista del empresario agrario, y se analiza empíricamente cómo se ha difundido la tecnología de riego localizado desde 1975 hasta 2005. Para ello, se han aplicado los modelos Logístico, Gompertz, Exponencial y Bass utilizando datos de campo de una de las comunidades de regantes más grandes de España. Del análisis del proceso se desprende que la tasa de difusión del conocimiento duplica a la de adopción, que la adopción ha llegado a su techo y que la difusión de esta tecnología viene determinada fundamentalmente por el efecto de imitación e interacciones personales.

PALABRAS CLAVE: Innovaciones, adopción, modelo logístico, modelo Gompertz, modelo Bass, modelo exponencial.

SUMMARY

Modelisation of localized irrigation technology diffusion in Cartagena fields

This paper is aimed at describing the analytic structure of models for adoption of technology innovations most used in the literature, and at empirically analysing the diffusion of the localised irrigation technology from 1975 to 2005. The emphasis is placed on applications for agriculture from the farm manager's point of view. With this purpose, the following models have been applied: Logistic, Gompertz, Exponential and Bass. Field data from one of the biggest irrigation communities in Spain have been used. When the data from this process is analysed and estimated, it shows that the knowledge diffusion rate is twice that of adoption, and that adoption has reached its peak. The spread of this technology is fundamentally determined by the imitation effect and personal interactions.

KEYWORDS: Innovation, adoption and diffusion, logistic model, Gompertz model, Bass model, exponential model.

